ChinaXiv合作期刊

饲料 n-3 高不饱和脂肪酸水平对较大规格军曹鱼生长性能、血清生化指标以及肌肉和肝脏脂肪酸组成的影响

黄钦成[1,2] 史 俊[1,2] 董晓慧[1,2*] 谭北平[1,2] 迟淑艳[1,2] 杨奇慧[1,2] 章 双[1,2] 刘泓宇[1,2] 杨原志[1,2]

（1.广东海洋大学水产动物营养与饲料实验室，湛江 524088；2.农业部华南水产与畜禽饲料重点实验室，湛江 524000）

摘 要：本试验旨在考察饲料 n-3 高不饱和脂肪酸（HUFA）水平对较大规格军曹鱼生长性能、血清生化指标及肌肉和肝脏脂肪酸组成的影响，以确定较大规格军曹鱼饲料中 n-3HUFA 的适宜水平。以白鱼粉、酪蛋白和去皮豆粕为主要蛋白质源，调节饲料中鱼油和玉米油的添加量，制成 n-3HUFA 水平分别为 0.49%、0.73%、0.98%、1.41%、1.51%、2.06%及 2.83%的 7 种等氮等能的试验饲料，投喂初重为 70 g 的军曹鱼 8 周。每种饲料投喂 3 个网箱（重复），每个网箱放养 30 尾鱼。结果显示：1）增重率（WGR）和特定生长率（SGR）随饲料 n-3HUFA 水平的升高呈先升高后降低趋势，0.73%～1.51%组的 WGR 和 SGR 显著高于 0.49%和 2.83%组（P<0.05）。2.83%组的成活率（SR）显著低于其他各组（P<0.05）。鱼体粗脂肪含量随饲料 n-3HUFA 水平的升高呈先上升后下降的趋势，0.98%和 1.41%组鱼体粗脂肪含量显著高于 2.06%和 2.83%组（P<0.05）。2）0.49%组血清谷丙转氨酶（ALT）活性显著高于 2.06%组（P<0.05）；0.49%组血清甘油三酯（TG）显著高于其他各组（P<0.05）；血清总胆固醇（CHOL）含量随饲料 n-3HUFA 水平的升高呈先升高后下降趋势，以 0.73%组最高，显著高于 0.49%、2.06%和 2.83%组（P<0.05）；0.98%组血清高密度脂蛋白（HDLC）含量显著高于其他各组（P<0.05）；0.98%～2.83%组血清低密度脂蛋白（LDLC）含量显著高于 0.49%和 0.73%组（P<0.05）。3）肌肉和肝脏 C14:0 和 C21:0 含量均以 2.83%组最高，各组肌肉和肝脏 C16:0 含量和饱和脂肪酸总量（∑SFA）无显著差异（P>0.05）。肌肉和肝脏 C18:1n-9、单不饱和脂肪酸总量（∑MUFA）及 C18:2n-6 含量均随饲料 n-3HUFA 水平的升高而下降。随饲料 n-3HUFA 水平的升高，肌肉和肝脏 n-6 多不饱和脂肪酸总量（∑n-6PUFA）呈先上升后稳定趋势，C20:5n-3（EPA）、C22:5n-3、C22:6n-3（DHA）含量及 n-3 多不饱和脂肪酸总量（∑n-3PUFA）和 n-3HUFA 总量（∑n-3HUFA）均呈逐渐升高趋势。综上，饲料中添加 n-3HUFA 有助于提高较大规格（70 g）军曹鱼的生长性能，降低体脂沉积，促进脂肪代谢，并可影响肌肉和肝脏脂肪酸组成。以 SGR 为评价指标，由折线模型得出较大规格（70 g）军曹鱼饲料中 n-3HUFA 的适宜水平为 0.95%。

chinaXiv:201812.00724v1

收稿日期：2018-04-16
基金项目：渔港建设和渔业产业发展专项（A201608C06）；湛江市财政资金科技专项竞争性分配项目（2016A3022）；广东省科技计划项目（2015A020209170）；现代农业产业技术体系专项资金（CARS-47）
作者简介：黄钦成（1993-），男，湖北孝感人，硕士研究生，研究方向为水产动物营养与饲料。E-mail: qinchengh0814@163.com
*通信作者：董晓慧，教授，博士生导师，E-mail: dongxiaohui2003@163.com

ChinaXiv合作期刊

关键词：较大规格军曹鱼；n-3 高不饱和脂肪酸；生长性能；血清生化指标；脂肪酸组成

中图分类号：S963　　　　　　　　文献标识码：A　　　　　　　　　　文章编号：

军曹鱼（*Rachycentron canadum*）隶属鲈形目（Perciformes）军曹鱼科（Rachycentridae）军曹鱼属（*Rachycentron*），俗称海竺鱼、海龙、海鲡、竹五、海甘草，广泛分布于除东太平洋外的热带及亚热带地区[1-2]。军曹鱼属于暖水性鱼类，主要以网箱养殖为主，一年可生长至6～8 kg，具有巨大的经济价值[3]。目前，有关军曹鱼对饲料中蛋白质[4]、脂肪[4]、维生素[5-7]、矿物元素[8-10]及碳水化合物[11]需要量等营养参数的研究已有报道，但大多只涉及幼鱼阶段，而鱼类在不同生长阶段对营养素的需求量不同[12-14]。研究鱼类不同生长阶段对营养素的需要量有助于设计更加精准高效的配合饲料，节约饲料成本，更好更快地促进水产养殖业的快速发展。

通常将具有2个或2个以上双键的脂肪酸称为多不饱和脂肪酸（PUFA）[15]，碳链长度为18～22。多不饱和脂肪酸中第1个不饱和键出现在碳链甲基端的第3位的脂肪酸称为n-3多不饱和脂肪酸（n-3PUFA）。双键为3个或3个以上，碳链长度为20以上的n-3多不饱和脂肪酸又称为n-3高不饱和脂肪酸（n-3HUFA），主要包括二十碳五烯酸（EPA，C20:5n-3）和二十二碳六烯酸（DHA，C22:6n-3）。大量研究结果证明，n-3HUFA在维持细胞膜的流动性、促进动物生长、增强免疫、提升抗氧化能力、减轻炎症反应以及脂肪代谢等方面发挥着重要的作用[16-19]。而海水鱼类将较短链及较低不饱和程度的脂肪酸转化为n-3HUFA的能力有限[16]，饲料中必须适量补充n-3HUFA鱼类才能正常生长。关于n-3HUFA需要量的研究在牙鲆（*Paralichthy solivaceus*）[20-21]、黑鲷（*Sparus macrocephalus*）[22]、斜带石斑鱼（*Epinephelus coioides*）[23]及欧洲鲈（*Dicentrarchus labrax*）[24]上已有报道。虽然有关军曹鱼对n-3HUFA的需要量也有研究[25]，但是只涉及到幼鱼[（8.3±0.5） g]，尚未有较大规格军曹鱼对n-3HUFA需要量的报道。本文通过研究饲料n-3HUFA水平对较大规格军曹鱼生长性能、体成分、血清生化指标及肌肉和肝脏脂肪酸组成的影响，确定较大规格军曹鱼饲料中对n-3HUFA的适宜水平，为军曹鱼精准饲料的研制提供基础数据。

1　材料与方法

1.1　试验饲料和实验设计

以白鱼粉、酪蛋白和去皮豆粕为主要蛋白质源，面粉为糖源，鱼油和玉米油为主要脂肪源，调节饲料中玉米油和鱼油的添加量，配制 n-3HUFA 水平分别为 0.49%、0.73%、0.98%、1.41%、1.51%、2.06%及 2.83%（实测值）的 7 种试验饲料（表 1）。饲料原料粉碎后过 60 目筛，根据饲料配方称取各原料，微量组分采用逐级扩大法混合均匀后，加鱼油、玉米油和大豆磷脂油搅拌均匀，再用 V 型立式混合机混合 5 min，然后加 30%～40%（质量分数）的水，用 F-26 型双螺杆挤压机（华南理工大学，广州）制成粒径为 3.0 mm 的颗粒饲料，在避光通风处风干至饲料水分含量为 10%左右，封口袋封装，-20 ℃冰箱冷冻保藏。试验饲

chinaXiv:201812.00724v1

料脂肪酸组成及含量见表 2。

表 1　试验饲料组成及营养水平（风干基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of experimental diets (air-dry basis)　　%

项目 Items	饲料 n-3 高不饱和脂肪酸水平 Dietary n-3HUFA level/%						
	0.49	0.73	0.98	1.41	1.51	2.06	2.83
原料 Ingredients							
白鱼粉 White fishmeal	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
酪蛋白 Casein	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
去皮豆粕 Peeled soybean meal	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00
面粉 Wheat flour	23.82	23.82	23.82	23.82	23.82	23.82	23.82
鱼油 Fish oil		1.50	3.00	4.50	6.00	7.50	9.00
玉米油 Corn oil	9.00	7.50	6.00	4.50	3.00	1.50	
大豆磷脂油 Soybean lecithin	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
维生素 C Vitamin C (35%)	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
氯化胆碱 Choline chloride	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
维生素预混料 Vitamin premix1)	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
矿物元素预混料 Mineral premix2)	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
诱食剂 Attractant	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
乙氧基喹啉 Ethoxyquin	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
磷酸二氢钙 $Ca(H_2PO_4)_2$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
羧甲基纤维素 Carboxymethylcellulose	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels3)							
粗蛋白质 Crude protein	42.52	42.66	42.70	42.77	42.57	42.31	42.17
粗脂肪 Crude lipid	11.49	11.39	11.47	11.92	11.38	11.55	11.88
粗灰分 Ash	9.21	8.81	8.63	8.59	8.57	9.15	9.47

1) 每千克维生素预混料含有 Contained the following per kg of vitamin premix：VA 10.00 g，VD_3 50.00 g，VE 99.00 g，VK 5.00 g，VB_1 25.50 g，VB_2 25.00 g，VB_6 50.00 g，VB_{12} 0.10 g，泛酸钙 calcium pantothenate 61.00 g，烟酸 nicotinic acid 101.00 g，生物素 biotin 25.00 g，肌醇 inositol 153.06 g，叶酸 folic acid 6.25 g，纤维素 cellulose 389.09 g。

2) 每千克矿物质预混料含有 Contained the following per kg of mineral premix：KIO_4 0.03 g，$CoCl_2 \cdot 6H_2O$ 4.07 g，$CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 19.84 g，$FeC_6H_5O_7$ 13.71 g，$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ 28.28 g，$MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.12 g，CaH_2PO_4 80.00 g，$MgSO_4 \cdot H_2O$ 12.43 g，KCl 15.33 g，Na_2SeO_3 2.00 g，沸石粉 zeolite power 824.19 g。

3) 实测值 Measured values。

表 2　试验饲料脂肪酸组成及含量(总脂肪酸的百分比)

Table 2　Composition and content of fatty acids in experimental diets （percentage of total fatty acids）　　%

脂肪酸 Fatty acids	饲料 n-3 高不饱和脂肪酸水平 Dietary n-3HUFA level/%						
	0.49	0.73	0.98	1.41	1.51	2.06	2.83
C14:0	0.30	0.29	0.38	0.49	0.41	0.68	0.78
C16:0	13.35	11.42	9.78	8.92	5.89	5.54	4.24
C18:0	2.35	2.11	1.96	1.94	1.45	1.61	1.36

chinaXiv:201812.00724v1

C21:0	0.05	0.11	0.13	0.21	0.24	0.32	0.48
∑SFA	16.04	16.52	16.63	16.34	16.05	16.35	13.66
C16:1n-9	0.50	0.47	0.52	0.67	0.72	1.00	1.15
C18:1n-9	25.18	19.98	16.67	15.01	9.02	7.73	4.94
C18:1n-7	1.32	1.25	1.21	1.23	1.01	1.26	1.19
∑MUFA	28.91	27.52	27.25	26.33	23.99	22.65	16.89
C18:2n-6	50.37	39.87	32.22	27.57	15.72	11.46	5.54
C20:4n-6	0.09	0.17	0.21	0.26	0.29	0.46	0.57
∑n-6PUFA	55.04	55.96	56.12	57.32	59.97	61.01	69.46
C18:3n-3	0.34	0.20	0.51	0.63	0.50	0.70	0.70
C20:5n-3（EPA）	1.67	2.20	2.38	3.06	3.07	4.05	4.27
C22:5n-3	0.08	0.23	0.30	0.45	0.47	0.66	0.78
C22:6n-3（DHA）	2.49	4.01	5.91	8.31	9.74	13.16	21.00
∑n-3PUFA	4.57	6.63	9.09	12.44	13.77	18.56	26.75
∑n-3HUFA	4.24	6.43	8.58	11.81	13.27	17.86	26.05
DHA/EPA	1.49	1.82	2.49	2.72	3.18	3.25	4.92

SFA：饱和脂肪酸 saturated fatty acids；MUFA：单不饱和脂肪酸 monounsaturated fatty acids；PUFA：多不饱和脂肪酸 polyunsaturated fatty acids；n-3PUFA：n-3 多不饱和脂肪酸 n-3 unsaturated fatty acids；EPA：二十碳五烯酸 eicosapentaenoic acid；DHA：二十二碳六烯酸 docosahexaenoic acid；n-3HUFA：n-3 高不饱和脂肪酸 n-3 high unsaturated fatty acid。表 6 和表 7 同 The same as Table 6 and Table 7。

1.2 试验动物与饲养管理

军曹鱼购自海南省三亚市，为同一批人工培育苗。养殖试验在广东省湛江市近海浮式网箱中进行。正式试验前，军曹鱼在网箱（4.5 m×4.5 m×3.0 m）中暂养，投喂打碎后的冰鲜杂鱼3周，然后投喂商业饲料（广东粤佳饲料有限公司，粗蛋白质含量为42%）训食2周至试验所需规格，饱食投喂，使之逐渐适应人工配合饲料。军曹鱼禁食24 h后分组，挑选体格健壮及规格均一（初重约为70 g）的军曹鱼随机分为7组，每组3个重复，每个重复30尾，以重复为单位放养于网箱（1.4 m×1.9 m×2.5 m）中，每网箱放养的军曹鱼30尾。养殖期为8周。每天投喂2次（09:00和17:00），饱食投喂。养殖期间水温29.0～32.5 ℃，盐度26～29，pH 7.5～7.8，氨氮浓度低于0.28 mg/L，溶解氧浓度为6～7 mg/L。

1.3 样本采集及测定

养殖试验结束后，将军曹鱼饥饿24 h后用丁香酚麻醉，每个网箱逐一称重和计数，用于计算生长指标。从每个网箱中挑出5尾军曹鱼，封口袋冻存备测体成分。再从每个网箱中随机选取5尾鱼，用2 mL注射器从心脏采血，采集的血样放入不含抗凝剂的离心管中，血样在室温下静置至少4 h，然后离心（5 000×*g*，10 min，4 ℃），收集血清保存于-80 ℃冰箱，备测血清生化指标。采血后的军曹鱼然后解剖，取肝脏和少量背肌，迅速放入液氮中，再转入-80 ℃冰箱，用于脂肪酸组成和含量分析。

chinaXiv:201812.00724v1

1.4 测定指标与方法

饲料和全鱼样品水分含量测定采用 105 ℃ 烘干恒重法，粗蛋白质含量测定采用凯氏定氮法（Kjeltec™ 8400，瑞典），粗脂肪含量测定采用索氏抽提法（乙醚为抽提剂）；粗灰分含量测定采用马福炉 550 ℃ 灼烧法。

血清总蛋白（TP）、低密度脂蛋白（HDL）、高密度脂蛋白（LDL）含量及碱性磷酸酶（ALP）、谷草转氨酶（AST）和谷丙转氨酶（ALT）活性使用全自动生化分析仪（日立 7600-110）测定。

脂肪酸组成及含量使用Varian 430-GC气相色谱仪（安捷伦）测定。色谱分析条件：色谱柱，HP-88（60 m×0.25 mm×0.2 μm）；氢离子火焰检测器（FID）温度为260 ℃，进样口温度为260 ℃，分流比为30:1；柱温程序升温，初始温度140 ℃，反应5 min，以5 ℃/min的速率升至240 ℃，反应20 min；柱流量2 mL/min，线速度59.6 cm/min；载气为高纯度氮气（25 mL/min）；燃气为高纯度氢气（30 mL/min）。以单种和混合标准脂肪酸甲酯进行定性分析，脂肪酸组成用面积归一法计算。

1.5 计算公式

成活率(SR)=$100\times N_t/N_0$；

增重率(WGR)=$100\times(W_t-W_0)/W_0$；

特定生长率(SGR)=$100\times(\ln W_t-\ln W_0)/t$；

肥满度(CF)=$100\times W_t/L^3$；

饲料系数(FCR)=$I_d/(W_t-W_0)$。

式中：W_t 为终末体重（FBW）（g）；W_0 为初始体重（IBW）（g）；t 为试验天数（d）；N_0 为初始尾数；N_t 为终末尾数；I_d 为摄食饲料总干重（g）；L 为体长（cm）。

1.6 统计方法

试验数据以平均值±标准误差（mean±SE）表示，采用 SPSS 17.0 软件对所得数据进行单因素方差分析（one-way ANOVA），当差异显著（$P<0.05$）时，采用 Duncan 氏法进行组间多重比较检验。

2 结　果

2.1 饲料 n-3HUFA 水平对较大规格军曹鱼生长性能的影响

由表 3 可知，0.73%～1.41%组的 WGR 和 SGR 显著高于除 1.51%组外的其他各组（$P<0.05$），0.49%、2.06%及 2.83%组的 WGR 和 SGR 无显著差异（$P>0.05$）。2.83%组的 SR 显著低于其他各组（$P<0.05$），其他各组间 SR 无显著差异（$P>0.05$）。CF 和 FCR 均不受饲料 n-3HUFA 水平的显著影响（$P>0.05$），但在数值上以 1.41%组最小。以 SGR 为判据，经折线模型[图 1，线性方程分别为 $y=0.575x+1.797\ 8$($R^2=0.800\ 3$)和 $y=-0.165\ 9x+2.491\ 8$($R^2=0.899\ 4$）]模拟得出，饲料 n-3HUFA 水平为 0.95%时 SGR 最大。

表 3　饲料 n-3HUFA 水平对较大规格较大规格军曹鱼生长性能的影响

Table 3　Effects of dietary n-3HUFA level on growth performance of larger cobia (n=3)

chinaXiv:201812.00724v1

项目 Items	n-3 高不饱和脂肪酸水平 Dietary n-3HUFA level/%						
	0.49	0.73	0.98	1.41	1.51	2.06	2.83
初始体重 IBW/g	71.83±0.73	71.00±0.50	70.00±1.53	72.17±1.33	72.33±0.44	73.33±1.01	72.50±1.53
终末体重 FBW/g	399.97±6.24[ab]	401.20±11.53[ab]	388.20±10.06[ab]	402.00±5..51[ab]	383.22±4.11[a]	410.85±4.95[b]	385.44±8.31[ab]
增重率 WGR/%	213.29±7.92[a]	262.53±8.95[c]	267.02±5.20[c]	266.66±13.29[c]	244.87±12.48[bc]	226.92±5.46[ab]	213.32±6.95[a]
特定生长率 SGR/(%/d)	2.03±0.04[a]	2.30±0.04[c]	2.32±0.03[c]	2.32±0.06[c]	2.21±0.07[bc]	2.11±0.03[ab]	2.04±0.04[a]
肥满度 CF/%	1.36±0.04	1.29±0.06	1.43±0.18	1.47±0.11	1.17±0.04	1.41±0.17	1.25±0.11
饲料系数 FCR	1.16±0.06	1.16±0.03	1.18±0.01	1.09±0.02	1.12±0.03	1.16±0.05	1.17±0.03
成活率 SR/%	91.67±4.01[b]	86.67±4.41[b]	93.33±3.33[b]	96.67±3.33[b]	85.00±8.66[b]	91.67±3.33[b]	65±5.00[a]

同行数据肩标不同字母表示差异显著(P<0.05)。下表同。

Values with different letter superscripts in the same line differ significantly (P<0.05). The same as below.

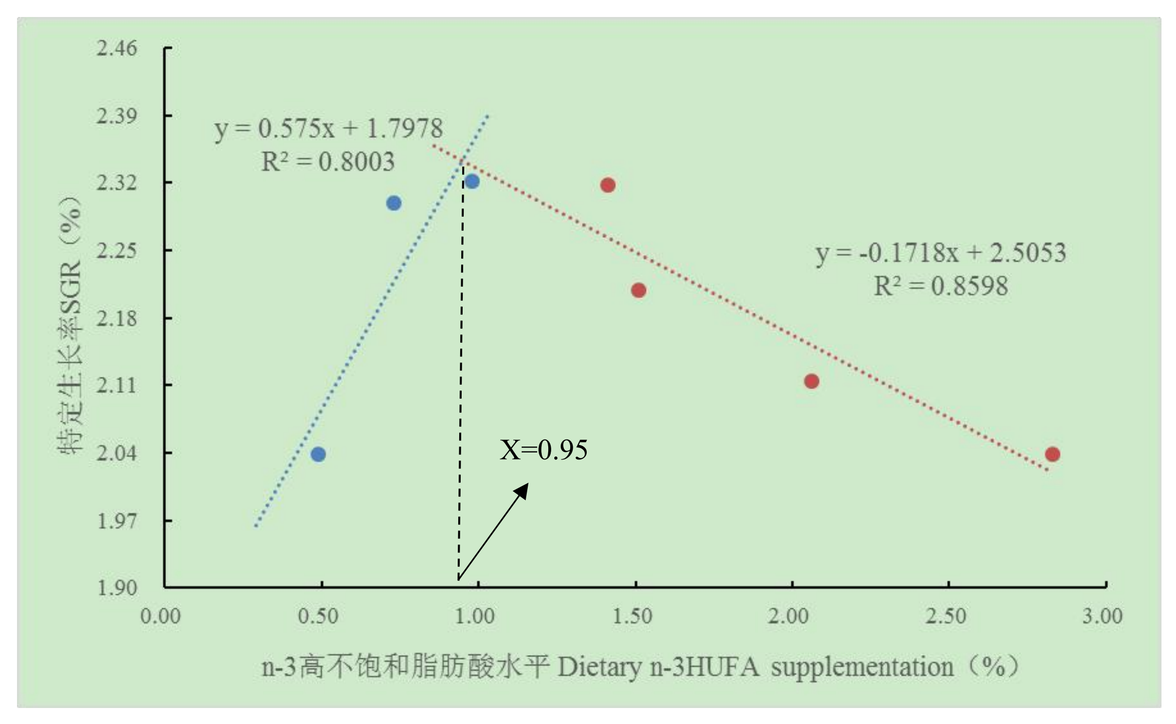


图 1　较大规格军曹鱼特定生长率与饲料 n-3 高不饱和脂肪酸水平的关系

Fig.1　Relationship between dietary n-3HUFA level and SGR of larger cobia

2.2　饲料 n-3HUFA 水平对较大规格军曹鱼体成分的影响

由表 4 可知，鱼体粗蛋白质、水分和粗灰分含量均不受饲料 n-3HUFA 水平的显著影响（P>0.05）。鱼体粗脂肪含量随饲料 n-3HUFA 水平的升高呈先上升后下降的趋势，2.83%组显著低于除 2.06%组外的其他各组（P<0.05），0.98%和 1.41%组显著高于 2.06%组（P<0.05），0.49%～1.51%组之间无显著差异（P>0.05）。

表 4　饲料 n-3HUFA 水平对较大规格军曹鱼体成分的影响

Table 4　Effects of dietary n-3HUFA level on body composition of larger cobia (n=3)

chinaXiv:201812.00724v1

项目 Items	n-3 高不饱和脂肪酸水平 Dietary n-3HUFA level/%						
	0.49	0.73	0.98	1.41	1.51	2.06	2.83
粗蛋白质 Crude protein	60.21±1.02	60.33±0.20	60.10±0.78	59.90±1.75	60.09±0.93	60.46±0.55	61.60±0.98
粗脂肪 Crude lipid	27.42±1.11^{bc}	27.94±0.48^{bc}	28.87±0.81^{c}	29.50±1.34^{c}	26.42±1.03^{bc}	24.55±1.56^{ab}	22.42±0.74^{a}
粗灰分 Ash	12.78±0.32	12.54±0.09	12.01±0.33	12.00±0.50	12.58±0.31	12.48±0.40	12.16±0.15
水分 Moisture	73.34±0.67	73.16±0.05	73.17±0.23	72.94±0.65	72.86±0.17	73.40±0.58	74.40±0.42

2.3 饲料 n-3HUFA 水平对较大规格军曹鱼血清生化指标的影响

由表 5 可知，2.06%组血清 ALT 活性显著低于 0.49%组（P<0.05），但与其他各组无显著差异（P>0.05）。血清 TG 含量随饲料 n-3HUFA 水平的升高呈波动下降，0.49%组显著高于其他各组（P<0.05）；0.73%组显著低于 0.49%组（P<0.05），并显著高于其他各组（P<0.05）；1.51%～2.83%组之间无显著差异（P>0.05），但显著低于除 0.98%组外的其他各组（P<0.05）。血清 CHOL 含量随饲料 n-3HUFA 水平的升高呈先升高后下降趋势，以 0.73%组最高，显著高于 0.49%、2.06%和 2.83%组（P<0.05）。血清 HDLC 和 LDLC 含量随饲料 n-3HUFA 水平的升高均呈先上升后下降趋势。其中，0.98%组血清 HDLC 含量显著高于其他各组（P<0.05），1.41%组血清 HDLC 含量显著低于 0.98%、2.83%组（P<0.05），与其他各组差异不显著（P>0.05）；0.49%和 0.73%组血清 LDLC 含量显著低于其他各组（P<0.05），1.51%和 2.06%组血清 LDLC 含量无显著差异（P>0.05），但显著高于其他各组（P<0.05），2.83%组血清 LDLC 含量较 2.06%组显著下降（P<0.05）。

表 5　饲料 n-3HUFA 水平对较大规格军曹鱼血清生化指标的影响

Table 5　Effects of dietary n-3HUFA level on serum biochemical indices of larger cobia (n=3)

项目 Items	n-3 高不饱和脂肪酸水平 Dietary n-3HUFA level/%						
	0.49	0.73	0.98	1.41	1.51	2.06	2.83
谷丙转氨酶 ALT/(U/L)	5.00±0.57^{b}	3.50±0.50^{ab}	3.00±1.15^{ab}	3.50±0.57^{ab}	3.50±2.65^{ab}	2.50±4.36^{a}	3.00±1.15^{ab}
甘油三酯 TG/(mol/L)	2.97±0.34^{d}	2.38±0.41^{c}	1.41±0.16^{ab}	1.63±0.05^{b}	1.07±0.12^{a}	0.98±0.04^{a}	1.02±0.16^{a}
总胆固醇 CHOL/(mol/L)	2.05±0.071^{ab}	2.60±0.28^{d}	2.45±0.21^{cd}	2.30±0.14^{bcd}	2.43±0.058^{cd}	2.20±0.007^{abc}	1.90±0.007^{a}
高密度脂蛋白 HDLC/(mmol/L)	0.69±0.04^{ab}	0.71±0.09^{ab}	0.98±0.08^{c}	0.82±0.06^{b}	0.78±0.03^{ab}	0.70±0.06^{ab}	0.65±0.04^{a}
低密度脂蛋白 LDLC/(mmol/L)	0.37±0.02^{a}	0.38±0.16^{a}	0.99±0.02^{bc}	0.80±0.09^{b}	1.13±0.06^{c}	1.15±0.08^{c}	0.87±0.04^{b}

2.4 饲料 n-3HUFA 水平对较大规格军曹鱼肌肉和肝脏脂肪酸组成的影响

由表 6 可知，0.73%～2.83%组军曹鱼肌肉 C14:0 和 C18:0 含量相比 0.49%组差异不显著（P>0.05），2.83%组 C14:0 和 C18:0 含量均最高，且其 C14:0 含量显著高于 1.41%和 1.51%组（P<0.05），C18:0 含量显著高于 0.73%和 0.98%组（P<0.05）。军曹鱼肌肉 C21:0 含量以 2.83%组最高，显著高于其他各组（P<0.05）。

chinaXiv:201812.00724v1

各组肌肉饱和脂肪酸总量（∑SFA）和 C16:0 含量均没有显著差异（$P>0.05$），饱和脂肪酸中 C16:0 在含量上最高。在肌肉单不饱和脂肪酸中，各组均以 C18:1n-9 含量最高，单不饱和脂肪酸总量（∑MUFA）与此变化趋势一致，均随 n-3HUFA 水平的升高而下降。2.06%～2.83%组肌肉 C16:1n-9 和 C18:1n-7 含量与 0.49%组相比有所增加，但差异不显著（$P>0.05$）。1.51%～2.83%组肌肉 n-6 多不饱和脂肪酸总量（∑n-6PUFA）显著高于其他各组（$P<0.05$）。随 n-3HUFA 水平的升高，肌肉 C18:2n-6 含量呈降低的趋势，C20:4n-6 含量呈先升高后降低的趋势。各组 n-3 多不饱和脂肪酸中 C20:5n-3（EPA）和 C22:6n-3（DHA）含量均呈上升的趋势，除 EPA 含量在 0.49%和 0.73%组之间差异不显著（$P>0.05$）外，其他各组间均差异显著（$P<0.05$）。相比 0.49%组，各组 DHA/EPA 值显著上升（$P<0.05$）。

表 6　饲料 n-3HUFA 水平对较大规格军曹鱼肌肉脂肪酸组成的影响

Table 6　Effects of dietary n-3HUFA level on fatty acid composition in muscle of larger cobia (*n*=3) %

脂肪酸 Fatty acids	n-3 高不饱和脂肪酸水平 Dietary n-3HUFA level/%						
	0.49	0.73	0.98	1.41	1.51	2.06	2.83
C14:0	0.94±0.14^{abc}	1.00±0.14^{abc}	1.00±0.11^{abc}	0.77±0.10^{a}	0.90±0.11^{ab}	1.27±0.11^{bc}	1.31±0.11^{c}
C16:0	17.73±0.54	17.92±0.31	17.85±0.42	18.49±0.94	17.26±0.43	16.31±0.69	16.81±0.16
C18:0	5.32±0.28^{ab}	5.25±0.05^{a}	5.25±0.33^{a}	5.75±0.27^{ab}	6.23±0.52^{ab}	5.92±0.11^{b}	6.27±0.18^{b}
C21:0	0.13±0.03^{a}	0.11±0.03^{ab}	0.26±0.03^{ab}	0.13±0.09^{ab}	0.14±0.06^{ab}	0.32±0.07^{b}	0.55±0.05^{c}
∑SFA	24.12±0.76	24.28±0.44	24.37±0.49	25.14±0.77	24.53±0.99	23.82±0.85	24.94±0.26
C16:1n-9	1.25±0.14^{ab}	1.33±0.20^{ab}	1.33±0.08^{ab}	0.90±0.11^{a}	0.95±0.24^{a}	1.62±0.09^{b}	1.61±0.10^{b}
C18:1n-7	1.23±0.03^{ab}	1.26±0.05^{ab}	1.51±0.23^{ab}	1.48±0.08^{ab}	1.19±0.22^{a}	1.81±0.36^{ab}	1.93±0.29^{b}
C18:1n-9	22.89±0.14^{d}	22.65±0.16^{d}	21.26±0.33^{c}	20.19±1.06^{c}	17.95±0.30^{b}	16.36±0.10^{ab}	15.10±0.24^{a}
∑MUFA	26.67±0.13^{c}	26.52±0.20^{c}	25.45±0.70^{bc}	23.63±1.17^{b}	20.76±0.57^{a}	20.41±0.49^{a}	19.95±0.25^{a}
C18:2n-6	41.31±1.00^{g}	36.97±1.05^{f}	31.47±1.17^{e}	25.82±0.26^{d}	20.43±1.18^{c}	15.43±0.29^{b}	9.07±0.24^{a}
C20:4n-6	0.43±0.09^{a}	0.52±0.06^{ab}	0.74±0.19^{abc}	1.03±0.15^{bcd}	1.59±0.23^{cde}	1.52±0.17^{de}	1.26±0.23^{e}
∑n-6PUFA	49.21±0.74^{a}	49.20±0.57^{a}	50.19±0.34^{a}	51.21±1.92^{a}	54.72±0.46^{b}	55.77±0.59^{b}	55.12±0.49^{b}
C18:3n-3	0.30±0.04^{a}	0.43±0.03^{a}	0.41±0.15^{a}	0.52±0.17^{a}	0.61±0.02^{ab}	0.35±0.06^{a}	0.90±0.08^{b}
C20:5n-3(EPA)	1.72±0.10^{a}	2.25±0.12^{ab}	2.98±0.08^{b}	4.08±0.42^{c}	5.19±0.24^{d}	6.88±0.55^{e}	8.77±0.28^{f}
C22:5n-3	0.33±0.01^{a}	0.48±0.21^{a}	0.68±0.19^{a}	0.53±0.27^{a}	1.53±0.27^{b}	2.07±0.12^{b}	3.04±0.23^{c}
C22:6n-3（DHA）	4.70±0.20^{a}	8.18±0.30^{b}	13.54±0.18^{c}	18.82±1.35^{d}	25.14±0.63^{e}	29.27±0.52^{f}	31.93±0.33^{g}
∑n-3PUFA	7.05±0.25^{a}	11.34±0.66^{b}	17.61±1.18^{c}	23.95±1.77^{d}	32.47±0.65^{e}	38.57±0.45^{f}	44.63±0.43^{g}
∑n-3HUFA	6.75±0.24^{a}	10.91±0.63^{b}	17.20±1.33^{c}	23.43±1.89^{d}	31.86±0.65^{e}	38.22±0.43^{f}	43.73±0.43^{g}
DHA/EPA	2.74±0.18^{a}	3.65±0.07^{b}	4.53±0.40^{b}	4.65±0.18^{bc}	4.88±0.34^{bc}	4.32±0.40^{c}	3.65±0.16^{c}

由表 7 可知，各组肝脏饱和脂肪酸总量、C16:0、C21:0 含量变化趋势与肌肉中的变化趋势一致，C14:0 显著上升且 2.83%水平下最大（$P<0.05$）。肝脏 C18:0 含量较为平稳，但 2.06%组显著低于 0.49%组（$P<0.05$）。肝脏 C16:1n-9 含量以 2.06%组最高，显著高于 0.49%和 0.73%组（$P<0.05$）。肝脏 C18:1n-7 含量随 n-3HUFA 水平的升高呈显著上升（$P<0.05$）。肝脏 C18:1n-9 含量和∑MUFA 随 n-3HUFA 水平的升高均呈下降的趋势。和肌肉中变化趋势一致，肝脏∑n-6PUFA 也表现为 1.51%～2.83%组显著高于其他各组（$P<0.05$）。随

chinaXiv:201812.00724v1

n-3HUFA 水平的升高，肝脏 C20:4n-6 含量呈显著上升（$P<0.05$），C18:2n-6 含量则持续下降。肝脏∑n-3PUFA 和 DHA/EPA 值的变化趋势与肌肉中一致。与 2.06%组相比，肝脏 DHA/EPA 值在 2.83%组显著下降（$P<0.05$）。

从表中数据看，无论是肌肉还是肝脏，C16:0、C18:1n-9 和 C18:2n-6 的含量均最高，其次是 C18:0、DHA 和 EPA 等，和饲料中各脂肪酸组成情况基本一致。各组肌肉中∑n-6PUFA、∑n-3PUFA 及 n-3HUFA 总量（∑n-3HUFA）均高于肝脏中，但∑MUFA 均低于肝脏中。除 2.83%组外，其他各组肌肉中 DHA/EPA 值高于肝脏中。

表 7　饲料 n-3HUFA 水平对较大规格军曹鱼肝脏脂肪酸组成的影响

Table 7　Effects of dietary n-3HUFA level on fatty acid composition in liver of larger cobia (*n*=3) %

脂肪酸 Fatty acids	n-3 高不饱和脂肪酸水平 Dietary n-3HUFA level/%						
	0.49	0.73	0.98	1.41	1.51	2.06	2.83
C14:0	0.44±0.04^{a}	0.47±0.07^{a}	0.61±0.02^{bc}	0.55±0.03^{a}	0.68±0.07^{bc}	0.73±0.02^{c}	0.73±0.02^{c}
C16:0	16.50±1.35	17.30±1.69	18.76±1.06	17.01±0.22	15.00±0.86	15.52±0.64	15.57±0.27
C18:0	5.93±0.27^{b}	5.23±0.57^{ab}	5.33±0.18^{ab}	5.39±0.25^{ab}	5.11±0.16^{ab}	4.86±0.22^{a}	5.56±0.01^{ab}
C21:0	0.06±0.02^{a}	0.10±0.03^{ab}	0.17±0.03^{bc}	0.19±0.04^{c}	0.32±0.02^{d}	0.39±0.03^{d}	0.49±0.02^{e}
∑SFA	22.92±1.65	23.10±2.23	24.87±1.23	23.14±0.36	21.12±1.02	21.50±0.58	22.35±0.28
C16:1n-9	1.14±0.19^{a}	1.39±0.35^{ab}	1.88±0.06^{abc}	1.59±0.03^{abc}	1.72±0.24^{bc}	2.17±0.10^{c}	2.05±0.14^{c}
C18:1n-7	1.35±0.05^{a}	1.71±0.06^{b}	2.10±0.03^{c}	2.16±0.03^{d}	2.46±0.04^{e}	2.65±0.03^{f}	3.00±0.04^{g}
C18:1n-9	29.55±0.14^{e}	28.54±0.41^{e}	26.40±0.35^{d}	25.04±0.80^{c}	20.47±0.38^{b}	19.32±0.39^{ab}	18.77±0.23^{a}
∑MUFA	33.47±0.32^{c}	33.13±0.71^{c}	31.89±0.34^{c}	30.36±0.78^{b}	26.36±0.42^{a}	25.79±0.44^{a}	25.61±0.28^{a}
C18:2n-6	39.88±2.15^{e}	35.44±2.97^{e}	27.74±1.48^{d}	23.90±0.91^{cd}	20.64±0.73^{c}	13.98±0.67^{b}	8.35±0.13^{a}
C20:4n-6	0.11±0.02^{a}	0.31±0.02^{b}	0.64±0.02^{c}	0.85±0.01^{d}	1.19±0.04^{e}	1.47±0.06^{f}	1.85±0.04^{g}
∑n-6PUFA	43.61±1.96^{a}	43.78±2.93^{a}	43.24±1.57^{a}	46.51±1.13^{a}	52.52±1.28^{b}	52.70±1.03^{b}	52.03±0.56^{b}
C18:3n-3	0.64±0.01^{a}	0.80±0.03^{b}	0.94±0.00^{c}	1.03±0.03^{c}	1.17±0.04^{d}	1.25±0.03^{d}	1.40±0.05^{e}
C20:5n-3(EPA)	0.79±0.05^{a}	1.57±0.07^{b}	2.80±0.02^{c}	3.98±0.1^{d}	5.46±0.04^{e}	6.48±0.13^{f}	7.60±0.15^{g}
C22:5n-3	0.21±0.02^{a}	0.67±0.06^{b}	1.21±0.04^{c}	1.83±0.08^{d}	2.50±0.11^{e}	3.04±0.06^{f}	3.59±0.03^{g}
C22:6n-3（DHA）	1.48±0.12^{a}	4.21±0.14^{b}	9.26±0.50^{c}	14.30±0.13^{d}	20.96±0.68^{e}	26.03±0.24^{f}	28.67±0.48^{g}
∑n-3PUFA	2.82±0.20^{a}	7.25±0.29^{b}	14.20±0.52^{c}	21.14±0.25^{d}	30.08±0.82^{e}	36.80±0.38^{f}	41.25±0.33^{g}
∑n-3HUFA	2.18±0.19^{a}	6.45±0.25^{b}	13.27±0.52^{c}	20.11±0.27^{d}	28.91±0.80^{e}	35.55±0.41^{f}	39.85±0.38^{g}
DHA/EPA	1.50±0.05^{a}	2.68±0.09^{b}	3.31±0.18^{c}	3.60±0.06^{cd}	3.84±0.12^{de}	4.02±0.04^{e}	3.78±0.13^{cd}

3　讨　论

本试验中，0.73%～1.51%组相比 0.49%组均显著提升了 WGR 和 SGR，以 SGR 为判据，较大规格军曹鱼（70 g）对 n-3HUFA 的需要量为 0.95%。有关 n-3HUFA 需要量的研究已有大量报道，如欧洲鲈[24]（14 g）为 0.7%、斜带石斑鱼[23]（50 g）为 1.27%～1.42%、黑鲷[22][（8.08±0.09） g]为 0.87%、金头鲷（*Sparus aurata*）[19][（11.5±0.2） g]为 1%、牙鲆[21]（8.5±0.06 g）为 0.8%～1.0%，由此可见，不同养殖品种 n-3HUFA 需要量不同。本试验得出的较大规格军曹鱼（70 g）对 n-3HUFA 的需要量（0.95%）低于军曹鱼幼鱼

chinaXiv:201812.00724v1

[25][（8.3±0.5） g]对 n-3HUFA 的需要量（1.49%），证明相同品种养殖鱼类在不同生长阶段 n-3HUFA 需要量也不同。冯晓宇等[26]在对丁鱥鱼（*Tinca tinca* L.）的研究中发现，成鱼和亲鱼肌肉中 DHA 和 EPA 含量显著高于幼鱼肌肉，不同生长阶段丁鱥鱼肌肉中脂肪酸含量及组成有明显差异，这可能间接说明不同生长阶段丁鱥鱼脂肪酸的需要量也不同。凡纳滨对虾（*Litopenaeus vannamei*）成虾（8.50 g）对 n-3HUFA 的需要量（0.51%）低于幼虾（0.50 g）（0.89%）和中虾（4.25g）（0.90%）[27]。这些都说明不同生长阶段水产动物对 n-3HUFA 需要量不同。相比军曹鱼幼鱼，较大规格军曹鱼对 n-3HUFA 需要量变低，这可能说明机体合成 n-3HUFA 能力变强，其具体原因还有待研究。在欧洲鲈上的试验显示，相比适宜水平（0.7%），饲料中低水平的 n-3HUFA（0.2%）使生长性能显著降低，高水平（1.9%以上）时生长性能不再提升，饲料效率无显著变化[24]。据报道，n-3HUFA 水平为 1.75%时能显著提高黑棘鲷（*Acanthopagrus schlegelii*）的 WGR、SGR 及饲料效率，n-3HUFA 水平为 0.87%～2.53%时 WGR 和 SGR 并没有随 n-3HUFA 水平的上升而提高，n-3HUFA 水平为 2.53%时 SR 最低[16]；n-3HUFA 水平为 0.4%～1.6%时显著提升牙鲆幼鱼的体增重和饲料效率，而在 n-3HUFA 水平为 2.4%时上述指标显著降低[21]；饲料 n-3HUFA 水平最低（0.7%）时，黄带鲹（*Longirostris delicatissimus*）表现出较高的死亡率和较差的食欲[28]。这些结果说明 n-3HUFA 为鱼类生存和生长所必需，且适宜水平的 n-3HUFA 可促进鱼类生长发育，而过低或过高则均不利于鱼类生长，且不利于饲料利用。本试验中高水平 n-3HUFA 的 2.83%组和低水平 n-3HUFA 的 0.49%组均表现出较低的 WGR 和 SGR，而 WGR 和 SGR 在 0.73%～1.51%组间无显著差异，且均显著高于 2.83%%和 0.49%组，同时 2.83%组 SR 显著低于其他各组，1.41%组 FCR 均低于其他各组，这些结果与上述结论基本一致。较大规格军曹鱼的 CF 不受饲料 n-3HUFA 水平的显著影响，这与在石斑鱼[23]和黑鲷幼鱼[22]上的研究结果一致。

本试验结果显示，鱼体粗蛋白质、水分、粗灰分含量均不受饲料 n-3HUFA 水平的显著影响，但对鱼体粗脂肪含量有显著影响，鱼体粗脂肪含量随饲料 n-3HUFA 水平的升高呈先上升后下降的趋势。研究显示，欧洲黑鲈鱼体水分、粗蛋白质和粗脂肪含量不受饲料 n-3HUFA 水平的显著影响[24]；黑棘鲷鱼体粗蛋白质、粗脂肪、粗灰分含量均未受饲料 n-3HUFA 水平的显著影响[16]，与之类似的结果在石斑鱼[23]及军曹鱼幼鱼[25]上均有报道。这些结果与本试验中大规格军曹鱼鱼体粗脂肪含量变化的结果不一致。另有研究显著，黑鲷幼鱼肌肉组织中粗脂肪含量随饲料 n-3HUFA 的水平的升高显著下降[22]，n-3HUFA 水平为 6.2%时显著降低牙鲆受精卵总脂肪含量[20]；饲料 n-3HUFA 水平对花鲈（*Lateolabrax japonicus*）肌肉粗脂肪含量无显著影响，但显著降低了鱼体粗脂肪含量[29]，这与本试验结果一致。然而，EPA 和 DHA 可大幅提升牙鲆幼鱼肌肉总脂肪含量[30]，三疣梭子蟹（*Portunus trituberculatus*）幼蟹粗脂肪含量随 n-3HUFA 水平升高先上升后下降但均高于最低添加水平组[31]，高水平（24.51 g/kg）n-3HUFA 显著提升了花鲈肝脏粗脂肪含量[29]。因此，饲料 n-3HUFA 水平对脂肪代谢有调节作用，但脂肪含量可能因养殖品种或组织器官不同而呈现不

chinaXiv:201812.00724v1

同的结果。

血清指标广泛用于评价鱼类的健康、营养及代谢状况。ALT 是反映肝脏功能的重要指标，正常情况下，血清中 ALT 的活性保持在较低水平，当肝脏或肾脏等组织发生受损或病变时，通常伴随血清 ALT 活性的升高。本试验中，血清 ALT 活性在 0.49%组最大，在其他各组均较低，这可能说明 n-3HUFA 有利于改善肝脏的健康状况。研究表明，过高或过低水平的 n-3HUFA 可能对大黄鱼（*Larmichthys crocea*）肝脏、心脏机能产生负面影响，并使血清 ALT 活性升高[32]。适宜水平的 n-3HUFA 降低了凡纳滨对虾中虾及成虾血清 ALT 活性[27]。血清 TG、CHOL、HDLC 和 LDLC 含量是衡量血脂水平的重要指标，TG 含量的升降通常伴随着 CHOL 含量的升降，二者是评价脂肪沉积的重要因素。HDLC 的作用是将血液或组织多余的 CHOL 运回至肝脏分解，LDLC 的作用则是将肝脏 CHOL 运至全身组织细胞。本试验中血清 TG、CHOL 含量在 0.73%～2.83%组整体呈下降趋势，这与高露姣等[33]在施氏鲟（*Acipenser schrenckii*）上的研究结果一致。血清 CHOL 含量通常与多价不饱和脂肪酸摄取量呈负相关[34]，凡纳滨对虾血清 CHOL 含量也随饲料 n-3HUFA 水平的升高呈现整体下降趋势[27]。而血清 CHOL 含量在 0.73%组显著高于 0.49%组，这可能是由于 0.49%组只单独添加了玉米油而没有添加鱼油（含较多胆固醇）[35-36]，因此出现突然上升。虽然 Jin 等[16]报道黑棘鲷血清固醇调节元件结合蛋白 1（*SREBP*-1，主要调控脂肪酸、脂质及胆固醇合成）的表达量随 n-3HUFA 水平的上升而下调，但是黑棘鲷血清 CHOL 含量却呈上升趋势，推测 n-3HUFA 可能会增加血清 CHOL 含量。褐菖鲉（*Sebastiscus marmoratus*）血清 CHOL 含量也随 n-3HUFA 水平的上升而上升[18]。有关 n-3HUFA 对 CHOL 的调节作用仍需进一步研究。血清 HDLC 含量在 0.98%组显著提升并达到最大，之后下降但与 0.49%组无显著差异，0.49%～0.73%组血清 LDLC 含量显著低于其他组，这说明一定水平的 n-3HUFA 可提升血清 HDLC 和 LDLC 含量，这与在褐菖鲉[18]上得出的结果一致。饲料 n-3HUFA 水平的升高可能促进了鱼体对饲料脂肪的消化吸收，使饲料中脂肪的利用率逐渐提高，鱼体代谢能力逐渐增强，因此血清 HDLC 和 LDLC 含量增加[18]。然而，不同生长阶段凡纳滨对虾血清 LDLC 含量随饲料 n-3HUFA 水平的升高显著降低[27]，其原因可能是不同养殖动物代谢情况不同。

本试验通过增加鱼油减少玉米油的添加量来控制大规格军曹鱼饲料 n-3HUFA 的水平，这与刘兴旺等[25]等通过增加鱼油减少牛油的添加量来控制军曹鱼幼鱼饲料中 n-3HUFA 水平的方法相似。大规格军曹鱼各组织中 C16:0、C18:0、C18:1n-9、C18:2n-6、DHA 和 EPA 含量较多，这与在欧洲鲈[24]、花尾胡椒鲷[37]（*Plectorhynchus cinctus*）、斜带石斑鱼[23]及军曹鱼幼鱼[25]上得出的结果一致，说明这些脂肪酸在组织中有着重要的生物学作用。本试验中，肌肉和肝脏 C18:1n-9 含量、∑n-3PUFA 和∑n-3HUFA 均随着饲料 n-3HUFA 水平的升高而升高，说明大规格军曹鱼对饲料中 n-3HUFA 有着良好的吸收能力；肌肉和肝脏∑SFA 没有显著变化，主要是受比例较大的 C16:0 和 C18:0 的影响，各组 C16:0、C18:0 含量在肌肉和肝脏组织中虽有差

chinaXiv:201812.00724v1

异但波动不大，这与在军曹鱼[25]、花尾胡椒鲷[37]、黄带鲹[28]上得出的结果一致。C16:0、C18:0 等饱和脂肪酸以及单不饱和脂肪酸作为鱼体的主要能量来源，同时也参与细胞膜磷脂的合成，由于机体自身可以合成，在肌肉中含量较为稳定[23,25]。然而，随饲料 n-3HUFA 水平的升高，黑棘鲷肌肉 C16:0、C18:0 含量及∑SFA 均呈下降的趋势[16]。三疣梭子蟹肌肉和肝胰腺∑SFA 随饲料 n-3HUFA 水平的升高而显著提高[31]。这可能与不同养殖品种以及养殖动物的脂肪酸代谢情况不同有关。本试验中∑MUFA 主要受 C18:1n-9（所占比例最大）的影响，在肌肉和肝脏中两者均随饲料 n-3HUFA 水平的升高而下降。Rodriguez 等[38]报道 C18:1n-9 和 C16:0 可能是金头鲷幼鱼期的最大能量来源物质，因此 C18:1n-9 可能被军曹鱼作为能量物质消耗。黄颡鱼（*Pelteobagrus fulvidraco*）仔鱼饥饿期间对体内脂肪酸的利用顺序为 MUFA>n-6PUFA>n-3PUFA 和 SFA[39]，而本试验中∑n-6PUFA 和∑n-3PUFA 随饲料 n-3HUFA 水平的升高均有上升的趋势（n-3PUFA 趋势更明显），∑MUFA 显著下降，∑SFA 变化不显著，可能说明 MUFA（主要是 C18:1n-9）在军曹鱼中优先于 SFA 及 n-3PUFA 被机体利用，而 DHA 和 EPA 则优先被储存。n-6PUFA 中比重较大的 C18:2n-6 被机体利用而下降，和∑n-6PUFA 上升的趋势相反，其机制还需要进一步研究。本试验结果显示，肌肉和肝脏 DHA 和 EPA 含量随饲料 n-3HUFA 水平的升高显著上升，DHA/EPA 值随饲料 n-3HUFA 水平的升高先升高后降低，2.83%组肝脏 DHA/EPA 值显著低于 2.06%组，在肌肉中虽也下降但并不显著，这可能说明大规格军曹鱼肌肉比肝脏有更强的积累 DHA 的能力，这与刘兴旺等[25]的结论一致。然而，不同鱼类对 DHA 和 EPA 的利用或积累情况可能不同，如 Jin 等[16]报道，饲料 n-3HUFA 水平为 0.87%～2.53%时黑棘鲷肌肉和肝脏 DHA/EPA 值显著低于 n-3HUFA 水平为 0.23%时。本试验中，大规格军曹鱼肌肉 DHA/EPA 值在 1.41%～2.83%组间保持稳定，这说明大规格军曹鱼肌肉中可能存在脂肪酸调控机制。各组肌肉中∑SFA、∑n-6PUFA、∑n-3PUFA 及∑n-3HUFA 基本高于肝脏中，但∑MUFA 均低于在肝脏中，DHA 和 EPA 也优先保存在肌肉中，这与甲壳动物三疣梭子蟹中的研究结果不太一致，在三疣梭子蟹中，C16:0、C18:0、C18:1n-9、C18:2n-6、SFA 等供能脂肪酸主要集中在肝胰腺中，而 DHA、EPA 等必需脂肪酸则被优先保存于肌肉中[31]。饲料中适宜水平的 n-3HUFA 促进了大规格军曹鱼的生长，原因可能是：1）适宜水平的 n-3HUFA 调节了机体脂肪的代谢，减少了脂肪沉积，有利于组织器官的健康；2）适宜水平的 n-3HUFA 促进了组织对 MUFA 及 PUFA 的积累与利用。

4　结　论

饲料中适宜水平的 n-3HUFA 可促进较大规格（70 g）军曹鱼的生长，降低体脂沉积，促进脂肪代谢以及促进组织器官对脂肪酸的利用和积累。以 SGR 为判据，较大规格（70 g）军曹鱼饲料中 n-3HUFA 的适宜水平为 0.95%。

参考文献：

chinaXiv:201812.00724v1

chinaXiv:201812.00724v1

[1] 勾效伟,区又君,廖锐.我国军曹鱼研究现状[J].海洋渔业,2007,29(1):84–89.

[2] BROWN-PETERSON N J,OVERSTREET R M,LOTZ J M,et al.Reproductive biology of cobia,*Rachycentron canadum*,from coastal waters of the southern United States[J].Fishery Bulletin-National Oceanic and Atmospheric Administration,2001,99(1):15–28.

[3] HUANG C T,MIAO S,NAN F H,et al.Study on regional production and economy of cobia *Rachycentron canadum* commercial cage culture[J].Aquaculture International,2011,19(4):649–664.

[4] CHOU R L,SU M S,CHEN H Y.Optimal dietary protein and lipid levels for juvenile cobia (*Rachycentron canadum*)[J].Aquaculture,2001,193(1/2):81–89.

[5] MAI K S,XIAO L D,AI Q H,et al.Dietary choline requirement for juvenile cobia,*Rachycentron canadum*[J].Aquaculture,2009,289(1/2):124–128.

[6] ZHOU Q C,WANG L G,WANG H L,et al.Dietary vitamin E could improve growth performance,lipid peroxidation and non-specific immune responses for juvenile cobia (*Rachycentron canadum*)[J].Aquaculture Nutrition,2013,19(3):421–429.

[7] 王广军,谢骏,吴锐全,等.军曹鱼饲料中 VE、VC、胆碱、肌醇适宜添加量的研究[J].浙江海洋学院学报(自然科学版),2006,25(1):10–14.

[8] 刘仙钦.军曹鱼（*Rachycentron canadum*）幼鱼饲料中适宜磷源、磷水平以及钙磷比研究[D].硕士学位论文.广州：广东海洋大学,2014.

[9] 乔永刚,谭北平,麦康森,等.军曹鱼幼鱼对饲料中锌需要量的研究[J].中国海洋大学学报(自然科学版),2007,37(增刊):105–110.

[10] 乔永刚,谭北平,麦康森,等.军曹鱼对饲料中铜需要量的研究[J].中国海洋大学学报(自然科学版),2013,43(4):34–41.

[11] 刘迎隆.不同添加量的糖对军曹鱼生长代谢的影响[D].硕士学位论文.青岛:中国海洋大学,2014.

[12] SKALLI A,HIDALGO M C,ABELLÁN E,et al.Effects of the dietary protein/lipid ratio on growth and nutrient utilization in common dentex (*Dentex dentex* L.) at different growth

stages[J].Aquaculture,2004,235(1/2/3/4):1–11.

[13] NHU V C,DIERCKENS K,NGUYEN H T,et al.Effect of early co-feeding and different weaning diets on the performance of cobia (*Rachycentron canadum*) larvae and juveniles[J].Aquaculture,2010,305(1/2/3/4):52–58.

[14] 姚林杰.团头鲂（*Megalobrama amblycephala*）三个生长阶段适宜蛋白/脂肪（蛋白/能量）比和脂肪需要量的研究[D].硕士学位论文.苏州：苏州大学,2013.

[15] 杨守美.n-3 多不饱和脂肪酸[J].医药产业资讯,2006,3(15):192–193.

[16] JIN M,LU Y,YUAN Y,et al.Regulation of growth,antioxidant capacity,fatty acid profiles,hematological characteristics and expression of lipid related genes by different dietary n-3 highly unsaturated fatty acids in juvenile black seabream(*Acanthopagrus schlegelii*)[J].Aquaculture,2017,471:55–65.

[17] 夏延平,苏宜香.n-3 多不饱和脂肪酸影响炎症及免疫分子机制研究进展[J].现代免疫学,2004,24(6):517–519.

[18] 岳彦峰,彭士明,施兆鸿,等.饲料 n-3HUFA 水平对褐菖鲉血清生化指标、主要脂代谢酶活力及抗氧化能力的影响[J].海洋渔业,2013,35(4):460–467.

[19] IBEAS C,CEJAS J,GÓMEZ T,et al.Influence of dietary n-3 highly unsaturated fatty acids levels on juvenile gilthead seabream (*Sparus aurata*) growth and tissue fatty acid composition[J].Aquaculture,1996,142(3/4):221–235.

[20] FURUITA H,TANAKA H,YAMAMOTO T,et al.Effects of high levels of n-3 HUFA in broodstock diet on egg quality and egg fatty acid composition of Japanese flounder,*Paralichthys olivaceus*[J].Aquaculture,2002,210(1/2/3/4):323–333.

[21] KIM K D,LEE S M.Requirement of dietary n-3 highly unsaturated fatty acids for juvenile flounder (*Paralichthys olivaceus*)[J].Aquaculture,2004,229(1/2/3/4):315–323.

[22] 马晶晶,邵庆均,许梓荣,等.n-3 高不饱和脂肪酸对黑鲷幼鱼生长及脂肪代谢的影响[J].水产学报,2009,33(4):639–649.

[23] 朱庆国,林建斌,黄种持,等.饲料中不同水平 n-3HUFA 对斜带石斑鱼幼鱼生长及肌肉脂肪酸组成的影

chinaXiv:201812.00724v1

ChinaXiv合作期刊

响[J].广东海洋大学学报,2012,32(4):20–27.

[24] SKALLI A,ROBIN J H.Requirement of n-3 long chain polyunsaturated fatty acids for European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles:growth and fatty acid composition[J].Aquaculture,2004,240(1/2/3/4):399–415.

[25] 刘兴旺,谭北平,麦康森,等.饲料中不同水平 n-3HUFA 对军曹鱼生长及脂肪酸组成的影响[J].水生生物学报,2007,31(2):190–195.

[26] 冯晓宇,陆清儿,童朝明,等.丁鲹不同生长阶段肌肉脂肪酸和微量营养元素的比较[J].水产科学,2006,25(2):59–61.

[27] 王凤美.不同生长阶段凡纳滨对虾对卵磷脂、胆固醇和 n-3HUFA 需要量的研究[D].硕士学位论文.湛江:广东海洋大学,2013.

[28] WATANABE T,TAKEUCHI T,ARAKAWA T,et al.Requirement of juvenile striped jack Longirostris delicatissimus for n-3 highly unsaturated fatty acids[J].Nihon Suisan Gakkaishi,1989,55(6):1111–1117.

[29] XU H,DU J,LI S,et al.Effects of dietary n-3 long-chain unsaturated fatty acid on growth performance,lipid deposition,hepatic fatty acid composition and health-related serum enzyme activity of juvenile Japanese seabass *Lateolabrax japonicus*[J].Aquaculture Nutrition,2017,23(1):1449–1457.

[30] 薛敏,李爱杰,张显娟.牙鲆幼鱼对 EPA 和 DHA 的营养需求[J].水产学报,2004,28(3):285–291.

[31] 张稳.三疣梭子蟹对 n-3 系列高度不饱和脂肪酸、维生素 C 和维生素 E 需求量的研究[D].硕士学位论文.宁波：宁波大学,2014.

[32] 张振宇.禁食及饲料 n-3HUFA 水平对大黄鱼体成分、脂肪酸组成和生化指标的影响[D].硕士学位论文.厦门:集美大学,2016.

[33] 高露姣,施兆鸿,艾春香.不同脂肪源对施氏鲟幼鱼血清生化指标的影响[J].海洋渔业,2005,27(4):319–323.

[34] HEGSTED D M,MCGANDY R B,MYERS M L,et al.Quantitative effects of dietary fat on serum cholesterol in man[J].The American Journal of Clinical Nutrition,1965,17(5):281–295.

[35] CASTRO C,CORRAZE G,FIRMINO-DIÓGENES A,et al.Regulation of glucose and lipid metabolism by

chinaXiv:201812.00724v1

dietary carbohydrate levels and lipid sources in gilthead sea bream juveniles[J].British Journal of Nutrition,2016,116(1):19–34.
[36] RICHARD N,KAUSHI S,LARROQUET L,et al.Replacing dietary fish oil by vegetable oils has little effect on lipogenesis,lipid transport and tissue lipid uptake in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)[J].British Journal of Nutrition,2006,96(2):299–309.
[37] 陈伟洲,李远友,孙泽伟,等.饲料中 n-3 高度不饱和脂肪酸含量对花尾胡椒鲷亲鱼组织的脂质含量和脂肪酸构成的影响[J].华南农业大学学报,2006,27(1):96–100.
[38] RODRIGUEZ C,PEREZ J A,LORENZO A,et al.n-3 HUFA requirement of larval gilthead seabream *Sparus aurata* when using high levels of eicosapentaenoic acid[J].Comparative Biochemistry and Physiology Part A:Physiology,1994,107(4):693–698.
[39] 卢素芳,赵娜,刘华斌,等.黄颡鱼早期发育阶段受精卵和鱼体脂肪酸组成变化[J].水产学报,2008,32(5):711–716.

chinaXiv:201812.00724v1

Effects of Dietary n-3 Highly Unsaturated Fatty Acids on Growth Performance, Serum Biochemical Indices and Fatty Acid Composition in Muscle and Liver of Larger Cobia (*Rachycentron canadum*)

HUANG Qincheng[1,2] SHI Jun[1,2] DONG Xiaohui[1,2*] TAN Beiping[1,2] CHI Shuyan[1,2] YNAG Qihui[1,2] ZHANG Shuang[1,2] LIU Hongyu[1,2] YANG Yuanzhi[1,2]
（1. *Laboratory of Aquatic Animal Nutrition and Feed*, *Fisheries College*, *Guangdong Ocean University*, *Zhanjiang* 524088, *China*; 2. *China Key Laboratory of Aquatic*, *Livestock and Poultry Feed Science and Technology in South China*, *Ministry of Agriculture*, *Zhanjiang*, *Zhanjiang* 524000, *China*）

Abstract: This experiment was carried out to determine the effects of dietary n-3 highly unsaturated fatty acids (n-3HUFA) on growth performance, serum biochemical indices and fatty acid composition in muscle and liver of larger cobia (*Rachycentron canadum*), in order to determine the suitable dietary n-3HUFA level of larger cobia. Seven isonitrogenous and isoenergetic experimental diets were formulated with fish meal, casein and peeled soybean meal as main protein sources and different proportions of fish oil and corn oil as lipid sources, and cobias

*Corresponding author, professor, E-mail: dongxiaohui2003@163.com (责任编辑 菅景颖)

ChinaXiv合作期刊

with the intial body weight of 70 g were fed 7 isonitrogenous and isoenergetic diets containing grade levels of n-3HUFA (0.49%, 0.73%, 0.98%, 1.41%, 1.51%, 2.06% and 2.83%) for 8 weeks. Fish in 3 cages (replicates) fed one kind of diet, and each cage cultured 30 fish. The results showed as follows: 1) the weight gain rate (WGR) and specific growth rate (SGR) were increased firstly and then decreased with the dietary n-3HUFA level increasing, and those in 0.73% to 1.51% groups were significantly higher than those in 0.49% and 2.83% groups ($P<0.05$). The survival rate (SR) in 2.83% group was significantly lower than that in other groups ($P<0.05$). The body crude lipid content was increased firstly and then decreased with the dietary n-3HUFA level increasing, and that in 0.98% and 1.41% groups was significantly higher than that in 2.06% and 2.83% groups ($P<0.05$). 2) Serum alanine transaminase (ALT) activity in 0.49% group was significantly higher than that in 2.06% group ($P<0.05$). Serum triglyceride (TG) content in 0.49% group was significantly higher than that in other groups ($P<0.05$). Serum total cholesterol (CHOL) content was increased firstly and then decreased with the dietary n-3HUFA level increasing, and the highest value was found in 0.73% group, which significantly higher than 0.49%, 2.06% and 2.83% groups ($P<0.05$). Serum high density lipoprotein cholesterol (HDLC) content in 0.98% group was significantly higher than that in other groups ($P<0.05$). Serum low density lipoprotein cholesterin (LDLC) content in 0.98% to 2.83% groups was significantly higher than that in 0.49% and 0.73% groups ($P<0.05$). 3) The highest C14:0 and C21:0 contents in muscle and liver were found in 2.83% group, and C16:0 content and the total amount of saturated fatty acids (∑SFA) were not significantly influenced by dietary n-3HUFA level ($P>0.05$). C18:1n-9, C18:2n-6 contents and the total amount of monounsaturated fatty acids (∑MUFA) all showed a decreased trend with the dietary n-3HUFA level increasing. With the dietary n-3HUFA level increasing, the total amount of n-6 polyunsaturated fatty acids (∑n-6PUFA) increased firstly and then kept stable, and the contents of C20:5n-3 (eicosapentaenoic acid), C22:5n-3, C22:6n-3 (docosahexaenoic acid), the total amount of n-3 polyunsaturated fatty acids (∑n-3PUFA) and the total amount of n-3HUFA (∑n-3HUFA) all showed a gradually rising tendency ($P<0.05$). In conclusion, dietary n-3HUFA positively improves growth performance of lager cobia and decreases the body lipid deposition, enhances lipid metabolization, and affects the fatty acid composition in body and liver. With the SGR as evaluation index, the suitable dietary n-3HUFA level of larger cobia is 0.95% by broken-line model.

Key words: cobia (*Rachycentron canadum*); n-3HUFA; growth; serum biochemial indexes; fatty acid composition

chinaXiv:201812.00724v1

ChinaXiv合作期刊

389

chinaXiv:201812.00724v1